

## 露光装置、その調整方法および露光方法

J1036 U.S. PTO  
09/846304  
05/02/01

## 発明の背景

## 発明の分野

本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（ＣＣＤ等）、または液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを基板上に転写する際に使用される露光装置、その調整方法および露光方法に関し、特に露光用の照明光として軟Ｘ線のような極端紫外光（Extreme Ultra Violet 光：ＥＵＶ光）を使用する露光装置に使用して好適なものである。

## 関連技術の記載

半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを、レジストが塗布された基板としてのウエハ（またはガラスプレート等）上に転写するために、ステッパー等の縮小投影型の露光装置、またはレチクルのパターンを直接ウエハ上に転写するプロキシミティ方式の露光装置等の各種の露光装置が使用されている。このような露光装置では、従来は露光用の照明光（露光光）として水銀ランプのｉ線（波長３６５ｎｍ）のような紫外光や、ＫｒＦエキシマレーザ光（波長２４８ｎｍ）のような遠紫外光（ＤＵＶ光）が使用されていた。最近ではより高い解像度を得るために、露光光としてＡｒＦエキシマレーザ光（波長１９３ｎｍ）のような遠紫外光やＦ<sub>2</sub>レーザ光（波長１５７ｎｍ）のような真空紫外光（ＶＵＶ光）を使用する露光装置の開発も行われている。また、従来のこれらの露光装置の照明系や投影光学系としては、屈折系、または反射屈折系が使用されていた。

このように露光光として紫外光を使用する場合には、照明系や投影光学系の組立調整を、最初の粗調整から最終調整まで露光光を使用して行うのは効率が悪い。そこで、従来は、露光光を発生する露光光源とは別に、Ｈｅ－Ｎｅレーザ等の可視光を発生する調整用の光源を使用して、この調整用の光源からの可視光を用いてコリメータ方式、または干渉計方式等で照明系や投影光学系の粗調整を行っていた。そして、粗調整を行った後、露光光を用いてそれらの光学系の最終調整を

行っていた。

上記のように、露光光源とは別に調整用の光源を設け、調整用の光源からの可視光を用いて照明系や投影光学系の粗調整を行う従来方法においては、例えば照明系中に、調整用の可視光を露光光とほぼ同軸となるように導くミラー等を配置する必要があり、露光光源および照明系を含めた調整を行うことはできなかった。そのため、粗調整の精度を高めることが困難であり、露光光を用いた最終調整に要する時間が長くなり、結果として組立調整に要する時間が長くなるという不都合があった。さらに、露光装置ではメンテナンス等を行うために、定期的に照明系や投影光学系の調整を行う必要があるが、従来はこのような定期的な調整時に粗調整を行うためには、例えば照明系中に調整用の可視光を導くミラーを配置する必要があったため、調整作業が複雑で、かつ長い時間を要していた。

また、従来は照明系や投影光学系は屈折系、または反射屈折系であり、露光光と調整用の可視光とでは波長が大きく異なっていたため、調整用の可視光を使用した粗調整時には照明系や投影光学系で色収差が発生していた。この色収差のために、粗調整の誤差が大きくなり、さらに最終調整時の時間が長くなっていた。

特に、今後はより微細な半導体素子等を製造するために、露光光として波長が100nm程度以下の極端紫外光（EUV光）を使用した露光装置の開発も行われつつある。このように露光光としてEUV光をする場合には、露光光源が大型化するため、露光光源を含めた形で効率的に照明系や投影光学系の調整を行うことができる調整方法が求められている。

軟X線を露光光として用いる投影露光装置の一例を図14に示す。レーザー光源201より発した赤外域または可視域のレーザー光は、レーザー光集光光学系201aによって、集光位置203に集光する。集光位置203の近傍には、ノズル202の先端が開口している。ノズル202より噴出された気体などのターゲットは、集光位置203において高照度のレーザー光を受け、その中心部がプラズマ化して軟X線を発し、これが軟X線の光源となる。したがって集光位置203がX線の発光点となる。このとき、軟X線以外にも、赤外光、可視光、紫外光などが発生される。

発光点203から発した軟X線は、第1集光光学系204と第2集光光学系2

05により平行光に変換された後に、コンデンサー光学系207により集光され、平面鏡207aによって光路を折り曲げた後に、反射型マスク208上で重ねあわせられる。反射型マスク208に描かれたパターンに応じて選択的に反射された軟X線は、投影光学系209により被露光面210に導かれ、こうしてマスク208のパターンが被露光面210に転写される。軟X線は大気に対する透過率が低いために、軟X線が使用される部分の装置は、真空チャンバー211により覆われている。

ところで、上記ノズル202は、ごく近傍でプラズマが発生しているため、多少の劣化は避けられない。また、第1集光光学系204も、擦り減ったノズル202の飛散粒子により汚染されるから、使用と共に反射率が低減する可能性が考えられる。そのため、これらの部品202、204は、ある使用時間毎に交換する必要がある。そして交換時には、新たに交換する部品は、交換される部品があった位置に正確に戻されなければならない。なぜなら、投影露光装置の技術分野では、精密な解像が要求されるために、照明系の多少の変形でさえも、像に影響を与えてしまうためである。

しかし、軟X線を露光光として用いる投影露光装置の分野は未成熟のため、部品交換時の位置出し方法についての提案が、従来一切なされていなかった。位置調整の手段は、装置全体が高価なものであるだけに、極力安価なことが望まれる。

### 発明の要旨

本発明は上記問題に鑑みてなされたもので、内部の光学系の調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる露光装置の調整方法を提供することを目的としている。

また、本発明は、露光光としてEUV光を使用する露光装置において、効率的に内部の光学系の調整を行うことができる露光装置の調整方法を提供することを他の目的としている。

さらに、本発明はその調整方法を実施できる露光装置を提供することをも目的としている。

本発明による第1の露光装置の調整方法は、露光用の照明光を発生する露光光

源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、その照明光のもとでそのマスクのパターンを基板上に転写する露光装置の調整方法であって、その露光光源としてその露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、その照明系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用する。

この露光装置の調整方法によれば、その一部の光学系の調整を行う際にはその広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用することによって、別途計測用の光源を用いることなく短時間に光学系の調整を行うことができる。また、非露光波長の光は、露光用の照明光とほぼ同じ位置から射出される（ほぼ同軸に射出される）ため、光学系の調整を実際の露光時と同様に高精度に行うことができる。

本発明による第2の露光装置の調整方法は、露光用の照明光を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、その照明光のもとでそのマスクのパターンを基板上に転写する露光装置の調整方法であって、その露光光源としてその露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、その照明系中の少なくとも一部の光学系の粗調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用し、その照明系の最終的な調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその露光用の照明光を使用する。

このような第2の露光装置の調整方法によっても、別途計測用の光源を用いることなく、短時間に、高精度で光学系の粗調整を行うことができる。従って、調整誤差が小さくなっているため、露光用照明光を用いる光学系の最終的な調整を短時間に行うことができる。

これらの場合において、露光装置は、そのマスクからの照明光を集光してそのマスクのパターンの像をその基板上に投射する反射系よりなる投影系を備え、その照明系およびその投影系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用することが望ましい。その投影系が反射系である場合には、色収差が無いため、その非露光波長の光を用い

ても高精度に調整が行われる。

本発明の第3の露光装置の調整方法は、露光用の照明光を発生する露光光源と、その照明光をマスクに照射する照明系と、そのマスクのパターン像を基板上に投射する投影系とを備えた露光装置の調整方法であって、その露光光源としてその露光用の照明光、およびこの照明光と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、その投影系の少なくとも一部の光学系を調整する際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用するものであり、この発明によっても短時間に光学系の調整が行われる。

その投影系の調整を行う際に用いる評価方法としては、像面でポイント像や周期パターン空間像を観察してもよいし、ポイント像を像面からデフォーカスした位置で観察することで、投影系の波面収差を測定することもできる。その他どのような観測方法であってもよい。

前記広帯域光源は、露光用照明光として極端紫外域の波長（波長が約100～1nm程度）の光を発生する一方、非露光波長の光として紫外域（波長が400～100nm程度）または可視域（波長が800～400nm程度）の少なくとも一方の波長の光を発生する光源とされ、かつ、前記照明系は反射系照明系であることが望ましい。前記照明系が反射系である場合には、色収差が無いため、非露光波長の光を用いても高精度に調整が行われる。また、前記非露光波長の光が紫外光である場合には、フォトダイオード等の簡単な構造の検出器で容易に検出できるため、光学調整機構が安価になる。一方、前記非露光波長の光が可視光である場合には、作業者が目視できるため、光学調整を容易に行うことができる。

さらに、前記非露光波長の光が可視光、または紫外光であって、その波長が200nm程度以上である場合には、真空中ではなく、例えば空気中で光学調整を行うことができ、調整時間を短縮することが可能となる。なお、真空チャンバを解放して、非露光波長の光が通る光路を空気で満たす代わりに、例えば窒素やヘリウムなどの不活性ガスをその光路に供給するようにしてもよい。この場合、非露光波長の光として波長が200nm以下の光を用いることが可能となる。

さらに、前記広帯域光源の一例はレーザプラズマ光源であり、その露光用の照明光は波長が5～20nmの間の極端紫外光（EUV光）であることが望ましい。



レーザプラズマ光源は、銅（Cu）のテープ、水滴、氷滴、キセノンガス（Xe）、またはクリプトンガス（Kr）等のターゲットに対して非常に強力なレーザ光線を照射することにより、そのターゲットを高温のプラズマ状態にし、それが冷える際に種々の波長の光を放出する光源である。レーザプラズマ光源から放出されるEUV光は全体でも、ターゲットに照射される光のエネルギーの10%程度といわれており、残り（90%程度）はEUV域以外の光となって放出される。さらに、EUV光のうち露光に用いる特定波長の光は、ターゲットに照射される光のエネルギーの1～2%程度に相当すると考えられている。

前記他の波長の光の中には、露光用の照明光と非常に近い波長の光もあり、それらは特定の波長（例えば、5～20 nmの間に設定される特定波長、例えば $13.4 \pm 0.1$  nm、または $11.5 \pm 0.1$  nm）の光のみを反射するように設計された多層膜反射ミラーによって、反射されることなく吸収されて熱に変わってしまうが、可視光や可視光に近い紫外光は、その多層膜の最上層の物質、例えばモリブデン（Mo）、ベリリウム（Be）、またはケイ素（Si）等によって反射されて、照明系、さらには投影系まで達することができる。従って、レーザプラズマ光源であれば、露光用の照明光と非露光波長の光とをほぼ完全に同軸で放出できるため、本発明の露光光源として好適である。

また、非露光波長の光を用いてその光学系の調整を行う際には、この非露光波長の光の光路に所定の気体（例えば空気）を供給し、その露光用の照明光を用いて露光または調整を行う際には、この露光用の照明光の光路を実質的に真空にすることが望ましい。その非露光波長の光が可視光、または可視光に近い紫外光である場合には、その光路に空気等を供給しても殆ど吸収されないと共に、調整作業が容易になる。一方、その露光用の照明光がEUV光である場合には、その光路をほぼ真空にしないと吸収が大きくなってしまう。

次に、本発明による第1の露光装置は、露光用の照明光を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、そのマスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、その露光光源としてその露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を備え、その照明系中の少なくとも一部の光学系を通過したその非露光波長の

光を検出する光電検出器を設けたものである。この光電検出器の検出信号を用いることで、前述した第1または第2の調整方法が実施できる。

本発明による他の露光装置は、露光用の照明光を発生する露光光源と、その照明光をマスクに照射する照明系と、そのマスクのパターン像を基板上に投射する投影系とを備えた露光装置であって、その露光光源としてその露光用の照明光、およびこの照明光と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を備え、その投影系の少なくとも一部を通過するその非露光波長の光を検出する光検出器を設けたものであり、この発明によって前述した本発明の露光装置の調整方法が実施できる。

これらの場合、マスクからの照明光を集光してマスクのパターンの像を基板上に投射する投影系を備え、照明系および投影系をそれぞれ反射系より構成し、そのマスクおよび基板を同期して所定方向に移動するステージ系を備え、マスクのパターンの像をその基板上に転写する際に、そのステージ系を駆動してそのマスクおよびその基板をその投影系に対して同期走査することが望ましい。その投影系を反射系とした場合には、色収差が無くなる半面で、良好に結像できる領域が円弧状になる。そこで、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光方式にすることによって、その基板上的広いショット領域に露光を行うことができる。

また、広帯域光源から射出されたその露光用の照明光、およびその非露光波長の光の何れかをその照明系側に通過させる波長選択装置を設けることが望ましい。

さらに、その広帯域光源から射出される光の中でその露光用の照明光がEUV光である場合には、その広帯域光源から射出される、EUV光より波長の長い、例えば100～300nm程度の光を用いて比較的要求精度が低いラフレイヤまたはミドルレイヤへの露光を行うようにして、そのEUV光を用いて最も高い精度が要求されるクリティカルレイヤへの露光を行うようにしてもよい。これによって、その露光装置を種々の用途に広く利用することができる。

本発明の露光装置の調整方法によれば、露光用の照明光および非露光波長の光を発生する露光光源が使用されているため、別途調整用の光源を用いることなく、内部の光学系の調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる。

そして、露光用の照明光が極端紫外光（EUV光）である場合に、照明系が反

射系であり、投影光学系を有する場合にこの投影光学系も反射系であるときには、色収差が生じないため、非露光波長の光を用いることによって高精度に、かつ効率的に内部の光学系の調整を行うことができる。

また、本発明の露光装置によれば、本発明による露光装置の調整方法を実施できる。

一方、本発明の他の目的は、X線を露光光として用いる露光装置について、X線を発生する部分の近傍に配置される部品の位置決めを、安価な装置にて実現することができる技術を提供することである。

この場合、露光光として用いる軟X線については、現在2種類のものが検討されている。1つはシンクロトロンによる放射光であり、もう1つはプラズマから放出されるプラズマX線、特にレーザーで励起されたプラズマから放出されるレーザープラズマX線である。

このうち、シンクロトロン放射光は、その光源が高価で、かつ大規模な（体積の極端に大きな）物になること、単一の光源から露光装置複数台分のX線を取り出すために、その光源にトラブルが発生すると、複数台の装置が同時に停止してしまうなどの問題点が指摘されている。そこで、プラズマX線が、この種の露光装置の光源として本命視されている。このことから、本発明ではプラズマX線、特にレーザープラズマX線を検討の対象とした。

前述した「新たに交換する部品の位置を、交換される部品があった位置に位置決めする」とは、換言すれば、光学系と光源（発光点）との相対的な位置関係を保持することである。そのためには、発光点が計測できなければならない。しかるにX線用の光学装置は、引き回し系についても、受光素子についても、特殊な波長のために高価になりがちである。そこで本発明では、光源の性質に着目した。

すなわち、レーザープラズマX線などのプラズマX線の光源は、特定の個所にエネルギーを集中してX線を発生させることから、X線と共に同一個所から可視光を発する。そこで、この可視光の発光点を特定することで、X線の発光点を特定することが可能となる。本発明の目的とする光源と光学系との相対的な位置関係を把握するためには、光学系を通して光源の位置を観察すれば良い。

本発明は以上の考察に基づいてなされたものであり、すなわち、物体をプラズ



マ化することによりX線を発生させるX線光源を備え、このX線光源から発する前記X線を露光光として用いる露光装置において、前記X線光源から前記X線と共に発せられる、X線以外の光、例えば可視光により、前記X線光源の像を形成する光源位置観察系を備えたことを特徴とする露光装置である。

また、本発明の他の形態の露光装置の調整方法は、物体をプラズマ化することによりX線を発生させるX線光源を備え、このX線光源から発する前記X線を露光光として用いる露光装置の調整方法であって、前記X線光源から前記X線と共に発せられる、X線以外の光、例えば可視光を用いて前記X線光源の位置決めを行うことを特徴としている。

また、本発明の他の形態の露光方法は、物体をプラズマ化することによりX線を発生させるX線光源を備え、このX線光源から発する前記X線を露光光として用いる露光方法であって、前記X線光源から前記X線と共に発せられる、X線以外の光、例えば可視光を用いて前記X線光源の位置決めを行った後に露光を行うことを特徴としている。

本発明の上記各形態によれば、プラズマから放出されるX線、特にレーザープラズマX線を光源とする露光装置において、光源周りの部品交換時に、高い精度で部品の位置を再現することが出来る。しかも本発明を実現するために付け加えられる機構は、極めて安価である。

また、本発明は、部品交換時の適用には限られず、経時変化などにより光源周りの部品が位置ずれを起こした時であっても、当この部品をあるべき位置に戻すような調整にも適用できる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施例の露光装置を示す概略構成図である。

図2は、図1中の光源装置を示す図である。

図3は、図2の左側面図である。

図4は、図1中のレチクルステージ近傍の構成を詳細に示す一部を切り欠いた図である。

図5は、レチクルの概略構成を示す平面図である。

図6は、図1の投影光学系POの内部構成を概略的に示す断面図である。

図7Aは空間像計測器FM1を示す平面図、図7Bは図7Aの一部を切り欠いた側面図である。

図8は、ウエハ（ウエハステージ）およびレチクル（レチクルステージ）の位置および姿勢制御に関連する制御系の構成を示すブロック図である。

図9は、その実施の形態の露光装置の組立調整時の動作の一例を示すフローチャートである。

図10は、本発明による投影露光装置の第2実施例を示す構成図である。

図11は、第1光源位置観察系と第2光源位置観察系の光軸の配置と、第1スクリーンと第2スクリーン上の目盛りを示す説明図である。

図12は、第1光源位置観察系と第2光源位置観察系との光軸の配置を示す斜視図である。

図13は、光源位置観察系の変形例を示す斜視図である。

図14は、従来例を示す構成図である。

### 望ましい実施態様

以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

#### [第1実施例]

図1は、本発明の第1実施例の露光装置10の全体構成を概略的に示す。図1において露光装置10は縮小投影型の露光装置であり、露光用の照明光（露光光）として波長5～20nmの軟X線領域の極端紫外光（EUV光）EL1を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により走査露光動作を行う。本例では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束の主光線をウエハW上に実質的に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下の説明においては、この投影光学系POからウエハWへのEUV光EL1の主光線を投射する方向を、投影光学系POの光軸方向（またはZ軸方向）と呼ぶと共に、これに直交する面内であって図1の紙面内の左右方向をY軸方向、図1の紙面に直交する

方向をX軸方向と称する。なお、投影光学系P Oはその像面側（ウエハ側）がテレセントリックで、その物体面側（レチクル側）が非テレセントリックな光学系である。

露光装置1 0は、反射型のレチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系P Oを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系P O（EUV光EL 1）に対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの縮小像の全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップ・アンド・スキャン方式で転写する。

露光装置1 0は、露光光源としての広帯域光源を含む光源装置1 2を備えており、この光源装置1 2は、露光光としてのEUV光EL 1の他に、波長が100～400 nm程度の紫外光EL 2、および波長が400～700 nm程度の可視光ALをも射出する。紫外光EL 2、および可視光ALが非露光波長の光に対応している。EUV光EL 1、紫外光EL 2および可視光ALは、光源装置1 2内の同じ位置から（同軸で）Y方向に沿って水平に射出されている。そして、露光装置1 0は、光源装置1 2からのEUV光EL 1等を反射して所定の入射角 $\theta$ （ $\theta$ はここでは約50 mradとする）で、レチクルRのパターン面（図1における下面）にその光路を折り曲げる折り返しミラーM（照明系の一部）、レチクルRを保持するマスクステージとしてのレチクルステージRST、レチクルRのパターン面で反射されたEUV光EL 1等をウエハWの被露光面に対して投射する反射系からなる投影光学系P O、ウエハWを保持する基板ステージとしてウエハステージWST、フォーカスセンサ14 a, 14 b、およびマーク検出系としてのアライメント光学系ALG等を備えている。

光源装置1 2は、図2に示されるように、露光光源としての広帯域のレーザプラズマ光源1 6と、照明系の一部PRM, IMとから構成される。レーザプラズマ光源1 6は、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ光源2 0と、この高出力レーザ光源2 0からのレーザ光Lを所定の集光点に集光する集光レンズ2 2と、この集光点に配置された銅テープ等のEUV光発生物質（ターゲット）2 4とを備えている。

ここで、EUV光の発生のおきについて簡単に説明する。高出力レーザ光源20からのレーザ光Lが集光レンズ22の集光点に配置されたEUV光発生物質24に照射されると、このEUV光発生物質24がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態に遷移する際に露光光としてのEUV光EL1、紫外光EL2、可視光AL、および他の波長の光を放出する。

このようにして発生したEUV光EL1等は全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置12内には放物面鏡PRMが設けられており、この放物面鏡PRMによってEUV光EL1等は集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡PRMの内表面にはEUV光を反射するためのEUV光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置26が取り付けられている。また、そのEUV光反射層では、波長が100nm程度以上の紫外光EL2、および可視光ALも同時に反射される。冷却装置26としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡PRMの素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡PRMの表面に形成されているEUV光反射層として、2種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデンMoと珪素Siとを交互に、周期6.5nmで数十層コーティングすると波長約13nmのEUV光を選択的に反射することが知られている。また、モリブデンMoとベリリウムBeとを交互に、周期5.5nmで数十層コーティングすると波長約11nmのEUV光が選択的に反射される。なお、モリブデンMoとベリリウムBeとを交互に周期6.5nmで数十層コーティングした多層膜も、波長13nmのEUV光を反射することが可能であるが、その反射率は、モリブデンMoと珪素Siとを交互に周期6.5nmで数十層コーティングした多層膜よりも小さい。

EUV光発生物質24から発生するEUV光の中で、反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡PRMの温度が上昇する。この放物面鏡PRMを冷却するために、前記冷却装置26が必要となる。放物面鏡PRMによって平行光に変換されたEUV光EL1、紫外光EL2、および可

視光ALは、それぞれその光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が一様な平行光である。

光源装置12内には、さらに、上記の平行光に変換されたEUV光EL1等を反射して図1の折り返しミラーMの方向に向けて偏向する照明ミラーIMと、この照明ミラーIMに対してEUV光EL1等の進行方向後方側（図2における紙面右側）に配置された波長選択装置30とが設けられている。波長選択装置30は、照明ミラーIMからの光の光路に交互に配置される光学フィルタ30a、30bと、EUV光選択板30c（不図示）と、後述の主制御装置80からの指令によって光学フィルタ30a、30b、またはEUV光選択板30cを選択的にその光路上に配置する駆動モータ30dとを備えている。光学フィルタ30aは、照明ミラーIMからの光の中で可視光ALのみを通過させ、光学フィルタ30bはその光の中で紫外光EL2のみを通過させる。光学フィルタ30a、30bは例えばガラス基板に対応する波長用の干渉フィルタを形成したものである。

EUV光選択板30cは、紫外光EL2、および可視光ALをカットしてEUV光EL1のみを通過させる目的で設けられている。これは、多層膜からなるEUV反射膜は、EUV光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光等も同様に反射してしまう。これを露光時にレチクルRや投影光学系POに導いたりすると、余計なエネルギーのためにレチクルRや投影光学系POを構成するミラー（これらについては後述する）が発熱したり、最悪の場合にはウエハW上に不要な光が転写されて像の劣化を招く恐れもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。

照明ミラーIMは、図2に示されるように、EUV光EL1等が照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、2種類の物質を交互に積層（例えば、モリブデンMoと珪素Siとを数十層コーティング）した多層膜からなる反射層が形成され、この反射層で反射されたEUV光EL1、紫外光EL2、および可視光ALがそれぞれレチクルR上で丁度細長いスリット状になるよう設計されている。

図2の紙面内上下方向がレチクルRのパターン面を照明する後述する所定面積



を有する円弧状の照明領域 I A（リング状照明領域の一部を取り出したような形状の照明領域）の長手方向に直交する方向に対応し、レチクル R のパターン面がちょうど焦点面となっている。この場合、EUV 光 EL 1 等の発光源が有限の大きさを持つため、レチクル R のパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上では EUV 光 EL 1 等は 1 mm から 10 mm 程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域を照明するのに細すぎるということはない。照明ミラー I M の反射面の裏面側には、前述した冷却装置 26 と同様の冷却装置 28 が備えられている。

図 3 には、図 2 に示される光源装置 12 を -Y 方向側（図 2 における左側）から見た状態が示されている。この図 3 においては、紙面の奥側に図 1 の折り返しミラー M がある。照明ミラー I M の反射面は図 3 には表れていないが、その反射面は図 3 の紙面奥側から見た場合に長形状をしている。即ち、図 2 では凹曲面、この左側面図である図 3 では長方形であるから、照明ミラー I M の反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。この場合、EUV 光 EL 1 等は、図 2 の紙面内では収束されるが、図 3 の紙面内では平行光のままであるから、図 3 中の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーが 0 というわけではない。

図 1 に戻り、レチクルステージ R S T は、図 1 では図示省略されているが、実際には図 4 に示されるように、X Y 平面に沿って配置されたレチクルステージベース 32 上に配置され、磁気浮上型の 2 次元リニアアクチュエータ 34 によってこのレチクルステージベース 32 上に浮上支持されている。レチクルステージ R S T は、磁気浮上型の 2 次元リニアアクチュエータ 34 によって Y 方向に所定ストロークで駆動されると共に、X 方向および  $\theta$  方向（Z 軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、レチクルステージ R S T は、その 2 次元リニアアクチュエータ 34 によって Z 方向および X Y 面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

レチクルステージ R S T の周辺部の底部には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース 32 上に X Y 2 次元方向に張

り巡らされたコイル34aとによって前記磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ34が構成されており、後述する主制御装置80によってコイル34aに流す電流を制御することによってレチクルステージRSTの6次元方向の位置および姿勢制御が行われるようになっている。

レチクルステージRSTは、図4に拡大して示されるように、レチクルRをレチクルステージベース32に対向して保持するレチクルホルダRHと、レチクルホルダRHの周辺部を保持するステージ本体35と、ステージ本体35の内部でレチクルホルダRHの背面側（上面側）に設けられこのレチクルホルダRHの温度をコントロールするための温度制御部36とを備えている。前記レチクルホルダRHとしては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、EUV光EL1を露光光として用いる関係から、本例の露光装置10は、実際には、不図示の真空チャンバ内に収容されており、真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダRHの素材は低膨張ガラスやセラミック等、従来の遠紫外光を露光光とするDUV露光装置で使用されている物で差し支えない。

レチクルホルダRHのレチクル吸着面には、複数の温度センサ38が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ38によってレチクルRの温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部36でレチクルRの温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部36を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ペルチェ素子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱交換器を用いる方式等が採用できる。

また、本例のレチクルステージRSTの底面のレチクルRに対して走査方向（Y方向）に離れた位置に、走査方向に直交する非走査方向（X方向）に細長い一列の画素よりなる受光部82a（図5参照）を有し、可視光ALに感度を持つ1次元の撮像素子82が配置され、撮像素子82の撮像信号が主制御装置80に供給されている。撮像素子82の受光面の高さはレチクルRのパターン面の高さと同じに設定されている。さらに、図6に示すように、レチクルステージRSTの底面のレチクルRに対してY方向に離れた位置に、そのパターン面と同じ高さで可

視光ALを反射する点状の反射膜83aが形成された基準部材83が固定されている。点状の反射膜83aは、光学系の調整時に可視光ALの点光源として使用される。

図4に戻り、レチクルステージRSTの-Y方向側の側面には、鏡面加工が施され、可視領域の光を反射する反射面40aが形成されている。図4では図示が省略されているが、レチクルステージRSTの-X方向側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面が形成されている。そして、この露光装置10では、従来のDUV光源の露光装置と同様に、前記反射面40a等に測定ビームを照射する干渉計システムによってレチクルステージRSTのXY面内の位置、および回転量（ピッチング量、ローリング量、及びヨーイング量が管理されている。

レチクルRの表面（パターン面）には、EUV光EL1を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、例えば2種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデンMoと珪素Siとの多層膜を用いて波長約13nmのEUV光に対して反射率約70%の反射膜を形成している。かかる反射膜の上にEUV光を吸収する物質を一面に塗布し、パターニングすることによってレチクルR上の原版パターンが形成されている。多層膜のような反射物体をパターニングすると失敗したときの修復が不可能であるのに対し、吸収層（吸収膜）を設けてパターニングする方法ではやり直しが可能になるので、パターン修復が可能になる。実在する大部分の物質がEUV光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本例では、レチクルRのZ方向位置を計測するために、レーザ干渉計が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム（可視領域の光）に対して前記反射層（反射膜）と同程度以上の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。このほか、この吸収層形成材料の選択の基準としてパターニングのし易さ、反射層への密着性、酸化等による経年変化が小さい等が挙げられる。

図5には、レチクルRの一例が示されている。図5中の中央にある長方形の領域がパターン領域PAである。斜線が施された円弧状の領域が露光光であるEUV光EL1が照射される円弧状の照明領域IAである。ここで、円弧状の照明領

域 I A を用いて露光を行うのは、後述する投影光学系 P O の諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクル R のパターン領域 P A の X 方向両端部には、Y 方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマーク R M 1 ~ R M 6 が形成されている。レチクルアライメントマーク R M 1 と R M 4 と、R M 2 と R M 5 と、R M 3 と R M 6 とは、それぞれほぼ X 方向に沿って配置されている。図 5 から明らかなように、円弧状の照明領域 I A を用いる場合には一括露光（静止露光）は不可能であるため、本例では後述するようにして走査露光が行われる。

レチクル R は、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクル R そのものの素材は特に問わない。レチクル R の素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス、セラミックス、シリコンウエハ等が考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダ R H の素材と同一の素材をレチクル R の素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、露光光の照射等による温度上昇に起因してレチクル R やレチクルホルダ R H に熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力（熱応力）が働かないという利点がある。これに限らず、異なる物質であっても同じ線膨張率を持った物質をレチクル R とレチクルホルダ R H との素材として用いれば、同じ効果が得られる。例えば、レチクル R にシリコンウエハ、レチクルホルダ R H に炭化珪素（S i C）を用いることが考えられる。レチクル R の素材としてシリコンウエハを用いると、半導体デバイスの製造工程で用いられる、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置等のプロセス装置等がそのまま使用できるという利点もある。本例では、かかる理由により、レチクル R の素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダを S i C によって形成している。

図 1 に戻り、レチクル R の下方（E U V 光 E L 1 等の入射側）には可動式ブラインド 4 2、視野絞りとしてのスリット板 4 4 とがレチクル R に近接して配置されている。より具体的には、これら可動式ブラインド 4 2、スリット板 4 4 は、実際には、図 4 に示されるようにレチクルステージベース 3 2 の内部に配置されている。

図 4 において、スリット板 4 4 は、円弧状の照明領域 I A（図 5 参照）を規定

するもので、投影光学系P Oに対して固定されていても勿論よいが、本例においては、このスリット板4 4は、モータ等を含む切替機構としての駆動機構4 6によって駆動可能に構成されている。スリット板4 4には、露光光としてのE U V光E L 1が照射されるレチクルR上の円弧状の照明領域I Aを規定する第1スリットと、図5のレチクルRのパターン領域P Aの両側に形成されたアライメントマークR M 1とR M 4と（あるいは、R M 2とR M 5と、またはR M 3とR M 6と）の部分を含む照明領域を規定する第2スリットとを有する。駆動機構4 6は、後述する主制御装置8 0（図8参照）からの指示に従って、露光時には、スリット板4 4を、照明領域I Aが照射されるように切り替え、レチクルRの位置合わせ（アライメント）時には、スリット板4 4を、E U V光E L 1が上記のアライメントマークを含む領域に照射されるように切り替えるようになっている。

図4において、可動式ブラインド4 2は、例えば、同一レチクルR内に描かれた冗長回路パターンをウエハWに転写したくない場合、その冗長回路部分が照明領域I A内に含まれるのを防止するためのもので、本例では、後述する主制御装置8 0からの指示に応じ、駆動機構4 6によってレチクルステージR S TのY方向の移動と同期してそのY方向の移動が制御されるようになっている。この場合において、可動式ブラインド4 2の始動は、レチクルRが走査し始めてからレチクルRと同じように走査し始めてもよいし、目標の隠すべきパターンが差し掛かるのに合わせて動き始めてもよい。

図1に戻り、投影光学系P Oとしては、前記の如く、反射光学素子（ミラー）のみからなる反射系が使用されており、ここでは、投影倍率1 / 4 倍の光学系が使用されている。従って、レチクルRによって反射され、レチクルRに描かれたパターン情報を含むE U V光E L 1は、投影光学系P Oによって4 分の1に縮小されてウエハW上に照射される。

ここで、投影光学系P Oについて図6を用いてより詳細に説明する。この図6において、投影光学系P Oは、レチクルRで反射されたE U V光E L 1、紫外光E L 2、および可視光A Lを順次反射する第1ミラーM 1、第2ミラーM 2、第3ミラーM 3、第4ミラーM 4の合計4枚のミラー（反射光学素子）と、これらのミラーM 1 ~ M 4を保持する鏡筒P Pとから構成されている。第1ミラーM 1



および第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値（標準偏差）で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光EL1に対する反射層が形成されている。レチクルR、ミラーM1～M4にそれぞれ形成される反射膜は、EUV光EL1の波長が約13nmであれば、モリブデンMoと珪素Siとが用いられ、その波長が約11nmであれば、モリブデンMoとベリリウムBeとが用いられる。

図6に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には貫通穴が設けられている。同様に、第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるように、第1ミラーM1にも貫通穴が設けられている。もちろん、貫通穴を設けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としてもよい。

EUV光EL1を用いて露光を行う場合には、投影光学系POが置かれている環境も真空であるため、露光光の照射による熱の逃げ場がない。そこで、本例では、ミラーM1～M4と、このミラーM1～M4を保持する鏡筒PPとの間をヒートパイプHPで連結すると共に、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。即ち、鏡筒PPを内側のミラー保持部50と、その外周部に装着された冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。この例では、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内のパイプ58に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環される。

このため、本例の投影光学系POでは、露光光としてのEUV光EL1の照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイ

プHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1, M2, M3, M4が前記一定温度に冷却される。この場合において、本例では、図6に示されるように、ミラーM1, M2, M4等については、その裏面側のみでなく表面側（反射面側）の露光光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第3ミラーM3の裏面側や第1ミラーM1の表面側のヒートパイプHPは、図6の紙面の奥行き方向において鏡筒PPの内周面に達している。鏡筒PPの外観は、四角柱状をしている。

図1に戻り、ウエハステージWSTは、XY平面に沿って配置されたウエハステージベース60上に配置され、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62によって、ウエハステージベース60上に浮上状態で支持されている。このウエハステージWSTは、その2次元リニアアクチュエータ62によってX方向およびY方向に所定ストロークで駆動されると共に、 $\theta$ 方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージWSTは、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62によってZ方向およびXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

ウエハステージWSTの底面には、永久磁石（図示省略）が設けられ、この永久磁石とウエハステージベース60上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル（図示省略）とによって、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62が構成されており、後述する主制御装置80によりそのコイルに流す電流を制御することによってウエハステージWSTの6次元方向の位置および姿勢制御が行われる。

ウエハステージWSTの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、このウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。また、このウエハステージWSTの図1における+Y方向側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光を反射する反射面74aが形成されている。また、図1では図示が省略されているが、ウエハステージWSTの-X方向側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面が形成されている。そして、この露光装置10では、反射面74a等に測定ビームを照射する干渉計システムによって投影光学系POに対するその位置が正確に測定されるようになっている。

ウエハステージWSTの上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系ALGの相対位置関係の計測（いわゆるベースライン計測）等を行うためのEUV光EL1用の空間像計測器FM1が設けられている（図1参照）。この空間像計測器FM1は、従来のDUV露光装置の基準マーク板に相当するものである。また、ウエハステージWST上のウエハWの近傍には、可視光AL用の空間像計測器FM2も配置されている。

図7Aおよび図7Bには、EUV光EL1用の空間像計測器FM1の平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器FM1の上面には、開口としてのスリットSLT1、SLT2が形成されている。これらのスリットSLT1、SLT2は、ウエハステージWSTの上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質63の表面に形成されたEUV光の反射層64にパターンニングされたものである。なお、反射層64に代えてEUV光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

前記スリットSLT1、SLT2の下方のウエハステージWSTの上面板には、開口66a、66bがそれぞれ形成されており、これらの開口66a、66bに対向するウエハステージWSTの内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子PMがそれぞれ配置されている。従って、投影光学系POを介して上方から空間像計測器FM1にEUV光EL1が照射されると、スリットSLT1、SLT2を透過したEUV光が蛍光発生物質63に到達し、この蛍光発生物質63がEUV光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子PMによって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子PMの出力信号も主制御装置80に供給されるようになっている。ここで、スリットSLT1、SLT2の位置関係は、レチクルR上にX方向に沿って配置された図5のレチクルアライメントマークRM1とRM4（RM2とRM5、あるいはRM3とRM6）との位置関係にほぼ対応した関係となっており、後述するレチクルアライメントの際には、スリットSLT1、SLT2を介してレチクルアライメントマークRM1とRM4を同時計測できるようになっている。

図6に示すように、可視光AL用の空間像計測器FM2は、その表面がウエハ

Wの表面と同一になるようにウエハステージWSTの上板に固定された、可視光を透過するガラス基板である。空間像計測器FM2の下方には、開口部を介して、結像レンズ85、および可視光に感度を持つ2次元のCCD型の撮像素子86が配置され、空間像計測器FM2の表面に形成された可視光ALによる拡大像が結像レンズ85を介して撮像素子86の撮像面に形成されるように構成されている。撮像素子86の撮像信号も主制御装置80に供給されている。

次に、本例の露光装置の位置計測システムにつき説明する。図1のレチクルステージRSTのX方向、Y方向、回転方向の位置は、上記のようにレーザ干渉計によって計測されている。この場合、投影光学系POの側面に設けられた参照鏡72aに供給されるレーザビームRIFY1Rと、レチクルステージRSTの側面40aに供給されるレーザビームRIFY1Mとによって、投影光学系POの位置を基準としてレチクルステージRSTのY座標が計測され、同様に投影光学系POの位置を基準としてレチクルステージRSTのX座標、および回転角が計測されている。同様に、ウエハステージWSTのX方向、Y方向、回転方向の位置も、レーザ干渉計によって投影光学系POの位置を基準として計測されている。これらのレチクルステージRST用のレーザ干渉計、およびウエハステージWST用のレーザ干渉計が図8の干渉計システム70を構成しており、干渉計システム70の計測値が主制御装置80に供給されている。

さらに、図1において、上記の干渉計システムの全ての計測の基準となる投影光学系POの鏡筒PPには、レチクルRのZ方向の位置を計測するレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZが設けられている。このレーザ干渉計RIFZは、実際には、同一構成の干渉計が鏡筒PPの周囲の3箇所に所定間隔で固定されているが、図1では、これらが代表的にレーザ干渉計RIFZとして示されている。

これらのレーザ干渉計RIFZからの測定ビームは、折り返しミラーMを介して所定の入射角 $\theta$ でレチクルRのパターン面に投射されるEUV光EL1等の照射領域、即ち円弧状の照明領域IA内の異なる3点にEUV光EL1等の入射光路と出射光路（反射光路）との中心に位置するZ方向の光路を通してレチクルRのパターン面に投射されるようになっている（図1および図4参照）。このため、レーザ干渉計RIFZは、レチクルRのパターン面に所定の入射角 $\theta$ で斜めから

入射し、入射角と同一の出射角で反射されるEUV光EL1等に影響を及ぼすことなく、かつEUV光EL1等によって干渉計測定ビームが影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数nm～1nm以下の精度）でレチクルRのZ方向位置を計測することが可能になっている。

レーザ干渉計RIFZとしては、ここでは、本体内に不図示の参照鏡が内蔵された参照鏡内蔵タイプのものが用いられ、その参照鏡の位置を基準としてレチクルR上の測定ビームの照射位置のZ方向位置を、それぞれ計測する。この場合、図5に示される照射領域IA内の点P1、点P2、および点P3の位置にそれぞれ第1～第3のレーザ干渉計RIFZからの測定ビームが投射されるようになっている。点P2は、照明領域IAの中心、即ちパターン領域PAのX方向の中心軸上の点でかつ照明領域IAのY方向の中心点であり、点P1、P3は前記中心軸に関して対称の位置にある。

図8に示すように、これら3軸のレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZの計測値も、主制御装置80に入力されるようになっており、主制御装置80ではこれら3軸の計測値に基づいて磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRST、即ちレチクルRのZ位置および傾斜角を補正するようになっている。

一方、図1の鏡筒PPを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系POに固定された斜入射光式のフォーカスセンサ（14a, 14b）によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ（14a, 14b）は、鏡筒PPを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームFBを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームFBを受光する受光系14bとから構成される。このフォーカスセンサとしては、例えば特開平6-283403号公報および対応する米国特許第5448332号等の開示される多点焦点位置検出系が用いられている。このフォーカスセンサ（14a, 14b）は鏡筒PPと一体的に固定されることが重要である。このフォーカスセンサ（14a, 14b）は図8ではフォーカスセンサ14として表されており、主制御装置80はそのフォーカスセンサ14の計測値に基づいて、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62を介し



てウェハステージWST、即ちウェハWのZ位置および傾斜角を補正するようになっている。なお、米国特許第5448332号の開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

また、図8の主制御装置80はマイクロコンピュータ（またはワークステーション）によって構成され、記憶装置としてのメモリ（RAM）81が内蔵されている。本例では、主制御装置80および磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62によって駆動装置が構成されている。

次に、本例の露光装置の組立調整時の動作の一例につき図9のフローチャートを参照して説明する。図1および図2において、放物面鏡PRM、照明ミラーIM、折り返しミラーM、可動式ブラインド42、およびスリット板44より照明系が構成されている。即ち、本例の照明系は全部の光学素子がミラーよりなる反射系であり、同様に投影系としての投影光学系POも反射系である。従って、照明系、および投影光学系POではEUV光EL1、紫外光EL2、または可視光ALの何れの光に対しても色収差が生じないために、本例では可視光ALを用いて照明系、および投影光学系POの組立調整時の粗調整を行う。ただし、可視光ALを用いた照明系および投影光学系POの調整は、例えば本例の露光装置の定期的なメンテナンス時にも実行することができる。

そして、図1および図2に示すように、露光光源としてのレーザプラズマ光源16、照明系、および投影光学系POの組立がおおまかに行われた後に、図9のステップS1において、図2の波長選択装置30を介して光源装置12からの光の中で、可視光ALのみを折り返しミラーM側に通過させるようにする。その後、ステップS2において、図1の露光装置の周囲が除塵され、温度や湿度が所定の標準状態に設定されると共に、気圧が周囲の大気圧と等しい空気を供給する。そして、作業者は照明系、および投影光学系POの位置関係の粗調整を行う。この際に、作業者はまず可視光ALを目視することによって、可視光ALがほぼ設計通りの光路を進むように、図2のレーザプラズマ光源16と照明系内の放物面鏡PRMとの位置関係や、放物面鏡PRMに対する照明ミラーIM、および折り返しミラーMの位置関係等を調整する。このような調整に際しては、各ミラーの支持部材の調整や、各ミラーの姿勢等を変更するための座金の交換等を行うように

してもよい。また、可動式ブラインド42、およびスリット板44等の調整も行う。これによって、レチクルステージRST上で図5の円弧状の照明領域IAに対応する領域にその可視光ALが照射されるようになる。

この後、図4において、レチクルステージRSTをY方向に低速で移動させることによって、図5において、撮像素子82の受光部82aが照明領域IAをY方向に横切るようにする。このように受光部82aが照明領域IAを横切る期間に、レチクルステージRSTのY座標に対応させて、撮像素子82の撮像信号を高いサンプリングレートで主制御装置80に取り込む。主制御装置80はその一連の撮像信号を処理して、図5において、照明領域IAの形状を計測する。この計測結果に基づいて作業者は、その照明領域IAが所定の幅Hの円弧状となるように、照明系やスリット板44の位置等の調整を行う。

次に、投影光学系POの粗調整を行うために、図6において、レチクルステージRSTをY方向に駆動して、可視光ALの照明領域内に点状の反射膜83aを移動させる。これによって、ウエハステージWST上にその点状の反射膜83aの縮小像（点像）が投影光学系POを介して投影される。そこで、ウエハステージWSTを駆動することによって、その点像を含むように空間像計測器FM2を移動し、撮像素子86を介してその点像の拡大像を撮像する。そして、作業者はその拡大像が所望の状態になるように投影光学系POの各ミラーの位置の調整を行う。

なお、この際にウエハステージWSTをZ方向にも駆動してZ方向の複数の位置でその点像の拡大像を撮像し、これらの複数の拡大像の変化に基づいて投影光学系POの粗調整を行ってもよい。このようにデフォーカスさせて点像を観察することによって、例えば米国特許（USP）第4309602号明細書に開示されているように、投影光学系POの波面収差を知ることができる。

また、本例では点像の観察を行っているが、レチクルステージRST上に点状の反射膜83aの代わりに周期的な反射パターンを形成しておき、この周期的な反射パターンの可視光ALによる像を観察するようにしてもよい。また、単に拡大像を観察する代わりに、例えば特開平8-83753号公報および対応する米国特許第5650840号に開示されているナイフエッジ等を用いて空間像計測

を行うようにしてもよい。このように粗調整を行うに際しては、別途調整用の光源を用いる必要が無いため、粗調整を迅速に効率的に行うことができる。

このようにして照明系、および投影光学系 P O の粗調整が終了した後、図 9 のステップ S 4 に移行して、図 2 の波長選択装置 3 0 を用いて光源装置 1 2 からの光の中で、E U V 光 E L 1 のみを折り返しミラー M 側に通過させるようにする。その後、ステップ S 5 で、その露光装置が収納されているチャンバを密閉して、その露光装置の周囲の空気を排気することによって、E U V 光 E L 1 の光路を所定のレベル以下の（E U V 光 E L 1 の減衰率が所定の値以下となるような）真空状態とする。それに続くステップ S 6 において、作業者はそのチャンバの外部からその露光装置に例えばテストプリント等を行わせることによって、照明系および投影光学系 P O の最終的な調整を行う。例えばレチクルステージ R S T およびウエハステージ W S T を静止させた状態でのテストプリント、および両ステージ R S T, W S T を同期走査した状態でのテストプリントによって、それぞれ所定の露光像が得られるように最終的な調整が行われる。また、光学調整時には、適宜そのチャンバ内に空気が供給される。

この際に本例では、照明系および投影光学系 P O が共に反射系で色収差が無いと共に、光源装置 1 2 からの可視光 A L は、E U V 光 E L 1 と同じ光路で射出されているため、ステップ S 3 の粗調整の結果は、E U V 光 E L 1 を用いた場合の調整結果と等価である。従って、ステップ S 6 の最終調整の開始時の調整誤差は僅かであるため、その最終調整を極めて短時間に行うことができる。即ち、全体としての照明系、および投影光学系 P O の組立調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる。

なお、上記の点像の観察等は、光源装置 1 2 からの紫外光 E L 2 を用いて行うようにしてもよい。

また、上記の実施の形態では、露光装置上における光学系の調整にレーザプラズマ光源 1 6 からの紫外光または可視光を用いたが、その光学系の調整を必ずしも露光装置上で行う必要はなく、所定の工具台上で調整を行うようにしてもよい。即ち、その工具台において可視光または紫外光により照明系や投影光学系 P O の粗調整を行い、その後露光光を用いて調整を行ってから露光装置に転載してもよ

いし、工具台上では可視光による調整だけにとどめて、露光装置に移してもよい。また、露光装置では、最初から露光光による調整をしてもよいし、可視光あるいは紫外光による再調整を行ってもよい。

次に、上述のようにして構成された本例に係る露光装置 10 による第 2 層目(セカンドレイヤ)以降の露光工程の動作について説明する。まず、図 2 の波長選択装置 30 を用いて、光源装置 12 からの光の中で EUV 光 EL1 が選択されるが、レーザプラズマ光源 16 の発光はレチクルアライメント、またはウエハの露光開始までは行われない。そして、図 1 において、不図示のレチクル搬送系によりレチクル R が搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージ RST のレチクルホルダ RH に吸着保持される。また、不図示のウエハ搬送系およびウエハステージ WST 上の不図示のウエハ受け渡し機構によって、EUV 光 EL1 に対して感度のあるレジストが塗布されたウエハ W がウエハステージ WST 上に載置される。

次に、図 8 の主制御装置 80 ではウエハステージ WST 上のウエハ W の各ショット領域に付設されたウエハアライメントマークの内の予め定めたサンプル対象となっているウエハアライメントマーク (1 つのショットについて 1 個または複数) の位置検出を、ウエハステージ WST を順次移動させつつ、アライメント光学系 ALG を用いて行う。このマーク位置の検出の際、主制御装置 80 ではウエハ W 表面の Z 位置をアライメント光学系 ALG の焦点位置に制御する。そして、サンプルショットのウエハアライメントマークの位置検出が終了すると、主制御装置 80 では、それらのデータを用いて例えば特開昭 61-44429 号公報および対応する米国特許第 4780617 号に開示される最小 2 乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハ W 上の全てのショット領域の配列座標を求める (以下、このアライメント手法を「EGA (エンハンスト・グローバル・アライメント)」と呼ぶ)。あるいは、主制御装置 80 では、上記のショット内の複数のウエハアライメントマークの位置検出データを用いて例えば特開平 6-275496 号公報および対応する米国特許出願第 569400 (1995 年 12 月 8 日出願) に開示される最小 2 乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハ W 上の全てのショット領域の配列座標および各ショットの倍率を含む変形量を求める (以下、この

アライメント手法を「ショット内多点EGA」と呼ぶ)。

このようにして、アライメント計測が終了すると、上記のEGAの結果より分かるショット間隔、あるいは上記のショット内多点EGAの結果より分かるショットサイズに基づいて、ショットの倍率変化(X, Yスケーリング)を計算し、その倍率変化量に応じてレチクルパターンの像のX方向(第2方向)の大きさを正確にウエハW上のショット領域の大きさに一致させるための投影倍率の制御量、即ちレチクルRのZ方向駆動量を算出し、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルRを前記算出した量だけZ方向(上下方向)に駆動する。例えば、所定の倍率より10ppm拡大する場合、レチクルRを40 $\mu$ mだけ投影光学系POから離れる方向に駆動する。

上記のレチクルRのZ駆動により、投影倍率の変動およびレチクルパターン像の投影領域の位置ずれが生ずるため、主制御装置80では、次のようにしてベースライン計測、および投影倍率の計測を行う。

主制御装置80では図4の駆動機構46を介してスリット板44を露光用照明光ELがアライメントマークを照射可能な位置へ切り替える。次いで、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62, 34を介してウエハステージWSTおよびレチクルステージRSTの位置を制御して、図5のレチクルR上に描画されたレチクルアライメントマークRM1, RM4, RM2, RM5, RM3, RM6を順次各2つずつEUV光EL1で照射すると共に、レチクルアライメントマークRM1, RM4, RM2, RM5, RM3, RM6のウエハW面上への投影像を、空間像計測器FM1のスリットSLT1, SLT2をそれぞれ介して検出することにより、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置を求める。即ち、レチクルアライメントを行う。

このレチクルアライメントのため、空間像計測器FM1を用いて前記投影像を検出する際には、主制御装置80では、レチクルRのZ駆動により空間像計測器FM1で得られる像にボケが生じないように、レチクルRのZ駆動量に対応したオフセットをフォーカスセンサ(14a, 14b)に与えて空間像計測器FM1の表面を投影光学系POの焦点位置に制御する。具体的には、主制御装置80では、レチクルRを40 $\mu$ mだけ投影光学系POから離れる方向に駆動した場合に



は、投影倍率が  $1/4$  であるから、 $40 \times 1/16 = 2.5 \mu\text{m}$  のオフセットをフォーカスセンサ 14 に与え、このフォーカスセンサ 14 の出力に基づいて磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 を介してウエハステージ WST の Z 位置をフィードバック制御し、ウエハ W を  $2.5 \mu\text{m}$  だけ投影光学系 PO に近づける。

次に、主制御装置 80 では、空間像計測器 FM1 のスリット SLT1 または SLT2 が、アライメント光学系 ALG の直下へ位置するように、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 を介してウエハステージ WST を移動すると共に、アライメント光学系 ALG の焦点位置に空間像計測器 FM1 の表面の Z 位置を調整する。そして、主制御装置 80 では、アライメント光学系 ALG の検出信号およびそのときの干渉計システム 70 の計測値に基づいて、間接的にレチクル R のパターン像のウエハ W 面上への投影位置とアライメント光学系 ALG の相対位置、即ちベースライン量を求め、その演算結果をメモリ 81 に記憶する。なお、空間像計測器 FM1 のスリット SLT1, SLT2 の丁度中間の位置に別の基準マークを形成し、この基準マークをアライメント光学系 ALG で検出することにより、ベースライン量を求めてもよい。かかる場合には、アライメント光学系 ALG の検出結果と、ベースライン量の設計値とに基づいてベースライン量をほぼ正確に求めることができる。

また、主制御装置 80 では、上記のレチクルアライメントの際に、空間像計測器 FM1 のスリット SLT1, SLT2 をそれぞれ介して検出された、レチクル R 上に非走査方向に並んで配置されたレチクルアライメントマーク RM1 と RM4 (RM2 と RM5、または RM3 と RM6) のウエハ W 面上への投影像の間隔に基づいて投影倍率を求める。

次に、主制御装置 80 では上記の倍率計測の結果に基づいて、目標とする倍率調整量、上の例では  $10 \text{ ppm}$  に対し、投影倍率の調整残留誤差が許容値 (例えば  $0.2 \text{ ppm}$ ) 以下となっているか否かを判断する。そして、この判断が否定された場合、即ち投影倍率の調整残留誤差が許容値を越えていた場合、主制御装置 80 では投影倍率を再設定するため、レチクル R を駆動する工程に戻り、再びレチクル R を Z 方向に駆動した後、上記処理・判断を繰り返す。一方、その判断が肯定された場合、即ち投影倍率の調整残留誤差が許容値以下となっていたら、

主制御装置 80 では駆動機構 46 を介してスリット板 44 を、照明領域 I A に E U V 光 E L 1 が照射される位置へ切り替えた後、次の工程に移行する。

この工程において、主制御装置 80 では次のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光を、E U V 光 E L 1 を露光光として用いて行う。即ち、主制御装置 80 では上で求めたウエハ W 上の各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システム 70 からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 を介してウエハステージ W S T を第 1 ショットの走査開始位置に位置決めすると共に、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34 を介してレチクルステージ R S T を走査開始位置に位置決めして、その第 1 ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、主制御装置 80 では磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34, 62 を介してレチクルステージ R S T とウエハステージ W S T との速度比が投影光学系 P O の投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光（レチクルパターンの転写）を行う。これにより、この走査露光中の走査方向（Y 方向）のレチクルパターン像の投影倍率が制御される。こうして第 1 ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージ W S T を第 2 ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第 2 ショットの走査露光を上述と同様にして行う。

この場合、レチクルステージ R S T を戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第 1 ショットと第 2 ショットとの走査露光の方向は反対向きで、即ち第 1 ショットの露光が Y 軸上の一侧から + 側の向きで行われた場合には第 2 ショットの露光は + 側から - 側の向きで行われる。即ち交互スキャンが行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハ W 上の全てのショット領域にレチクル R のパターンが転写される。以上のようにして、露光装置 10 による、1 枚のウエハ W に対する一連の処理工程が終了する。

本例によると、レーザプラズマ光源 16 および照明系（P R M, I M, M）は露光光として、波長 5 ～ 20 nm の間の E U V 光 E L 1 をレチクル R に照射し、投影光学系 P O として複数の反射光学系素子（M 1 ～ M 4）のみからなる反射系

が用いられているため、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能である。

なお、上記の実施の形態では、EUV光EL1を用いて露光を行っているが、この露光は例えばウエハ上で最も高い解像度が要求されるクリティカルレイヤへの露光に際して行われる。これに対して例えばラフレイヤまたはミドルレイヤでは必ずしもEUV光EL1を使用する程の高い解像度は必要とされない。そこで、ラフレイヤへの露光を行う際には、図2の波長選択装置30を介して光源装置12からの紫外光EL2を選択し、この紫外光EL2を用いて露光を行うようにしてもよい。本例の照明系、および投影光学系POは全て反射系であるため、紫外光EL2を使用する際にも色収差が発生しないため、照明系、および投影光学系POを用いて必要な解像度で露光を行うことができる。これによって、本例の露光装置は、クリティカルレイヤにもラフレイヤまたはミドルレイヤにも使用することができる。

また、上記の実施の形態では、EUV光EL1の他に紫外光EL2や可視光ALを発生する露光光源としての広帯域光源としてレーザプラズマ光源16が使用されている。これ以外に、その広帯域光源としては、複数波長の光を発生するレーザ光源、またはSOR (Synchrotron Orbital Radiation) リング等を使用することができる。

また、EUV光EL1はその波長が5~20nmの間であるものとしたが、これに限られるものではなく、例えば5~50nmの間であってもよい。EUV光EL1の波長が、例えば30nm程度である場合には、その波長が約11nmまたは13nmである場合に比べて、照明光学系や投影光学系にそれぞれ配置されるミラーの反射面の形成精度が緩くなるといった利点を得られる。

さらに、上記の実施の形態は走査露光型で縮小投影型の露光装置に本発明を適用したものであるが、本発明は、例えばEUV光を用いて投影光学系を介することなく直接レチクルのパターンをウエハ上に転写するプロキシミティ方式の露光装置において、照明系の調整を行う場合にも適用することができる。

また、上記の実施の形態では、露光光としてのEUV光EL1が軟X線領域の光であり、ウエハステージWST上に、蛍光発生物質63と、この表面にEUV

光EL1の反射層62の薄膜により形成されたスリットSLTと、このSLTを介してEUV光EL1が蛍光発生物質63に到達した際に蛍光発生物質63が発する光を光電変換する光電変換素子PMと、を有する位置検出系としての空間像計測器FM1を備えることから、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにも関わらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となり、この空間像計測器FM1を用いてレチクルパターンのウエハステージWST上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

また、上記実施の形態では、スリット板44を用いて円弧状の照明領域IAを規定する場合について説明したが、これに限らず、照明光学系を構成する各光学部材が照明光ELが円弧状の形になるように設計されていればレチクルR直下のスリット板44は必ずしも設ける必要はない。

また、前述の照明領域IAは円弧状であるものとしたが、例えば矩形状などであってもよい。但し、照明領域IAを矩形状にするときは、投影光学系POのミラー枚数を本例（4枚）よりも多くする必要がある。更に、投影光学系POのミラー枚数は、本例では4枚としたが、その枚数は任意でよく、例えば3～8枚程度とすることが望ましい。

また、レチクルアライメントマークRM1～RM6の位置は図5の位置ではなく、図5中のRM7～RM12の位置にしても良い。かかる場合には、スリット板44として、照明領域IAのみを照明するスリット板があれば良く、また、駆動機構46は不要である。あるいは、レチクルアライメントマークをRM1～RM12の全ての位置に形成し、これら全てを利用しても良い。

なお、上記の実施の形態の露光装置は、既に説明したように、照明系や投影光学系POの調整を行うと共に、各構成要素を、電氣的、機械的または光学的に連結して組み上げられる。そして、上記のように露光が行われたウエハWが、現像工程、パターン形成工程、ボンディング工程等を経ることによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

## [第2実施例]

次に、図10は本発明による投影露光装置の第2実施例を示している。この実施例では、レーザー光源101より発した赤外域または可視域のレーザー光は、レーザー光集光光学系101aによって、集光位置103に集光する。集光位置103の近傍には、ノズル102の先端が開口している。ノズル102より噴出された気体などのターゲットは、集光位置103において高照度のレーザー光を受け、その中心部がプラズマ化して軟X線およびそれ以外の波長の光を発し、これが軟X線の光源となる。したがって集光位置103がX線の発光点となる。

発光点103から発した軟X線（EUV光）は、第1集光光学系104と第2集光光学系105により、平行光に変換される。本実施例では、第1集光光学系104として楕円鏡を用いている。また第2集光光学系105としては放物面鏡を用いており、この放物面鏡105は、放物面の回転対称軸が反射面の中央を通過しない軸外しの放物面鏡である。そして楕円鏡104の第1焦点に発光点103が配置され、第2焦点に放物面鏡105の焦点が配置されている。

集光光学系104、105によって平行光に変換された軟X線は、その後、フライアイ光学系106に導かれる。フライアイ光学系106は、第1フライアイ光学系106aと第2フライアイ光学系106bとからなる。第1フライアイ光学系106aの各要素ミラーは、凹面鏡によって構成されており、こうして第1フライアイ光学系106aに入射する軟X線は、第1フライアイ光学系106aによって波面分割されて、第2フライアイ光学系106bの近傍に多数の2次光源を形成する。すなわち発光点103と第2フライアイ光学系106bとは、ほぼ共役の関係にある。

なお、図10では、図面の輻輳を回避するために、第1フライアイ光学系106aに入射した平行光が、平行光で反射するように描いている。しかし実際には上述のように、第1フライアイ光学系106aに入射した平行光は、第2フライアイ光学系106bの近傍に集光する。

第2フライアイ光学系106aの各要素ミラーは、それぞれ第1フライアイ光学系106aの各要素ミラーに対応している。第2フライアイ光学系106bの各要素ミラーも、凹面鏡によって構成されており、第1フライアイ光学系106aの要素ミラーの曲率と、第2フライアイ光学系106bの要素ミラーの曲率は、



ほぼ等しい。この結果、フライアイ光学系106によって、波面分割された各軟X線ごとに、第1フライアイ光学系106aの各要素ミラーへの入射位置と入射角度との関係が、対応する第2フライアイ光学系106aの各要素ミラーからの射出角度と射出位置との関係に変換される。

フライアイ光学系106を同一の射出角度で射出した軟X線は、その後、コンデンサーレンズ107により集光され、平面鏡107aによって光路を折り曲げた後に、反射型マスク108上で重ねあわせられる。フライアイ光学系106からの射出角度は、第1フライアイ光学系106aの各要素ミラーへの入射位置に対応するから、反射型マスク108上の照明領域と第1フライアイ光学系106aの個々の要素ミラーとは、共役の関係にある。したがって反射型マスク108上の照明領域を、例えば円弧状とするときには、第1フライアイ光学系106aの個々の要素ミラーの形状も円弧状となる。

反射型マスク108にはパターンが描かれており、照明領域内のパターンに応じて選択的に反射された軟X線は、投影光学系109により被露光面110に導かれ、こうしてマスク108のパターンが被露光面110に転写される。反射型マスク108に入射する軟X線と、反射型マスク108から反射する軟X線とを平面鏡107aによって分離するために、反射型マスク108に入射する軟X線は、わずかにテレセントリックから外れている。他方、被露光面110に入射する軟X線は、ほぼ完全にテレセントリックとなっている。

なお、軟X線は大気に対する透過率が低いために、軟X線が使用される部分の装置は、真空チャンバー111により覆われている。

集光光学系101aの集光位置103、すなわち発光点103から軟X線と共に発した、その軟X線以外の光、例えば可視光も、集光光学系104、105により平行光に変換されて、フライアイ光学系106に向かう。本実施例では、フライアイ光学系106に向かう軟X線と可視光との光束の径は、第1フライアイ光学系106aの全体の径よりも少々太く設定されている。したがって、第1フライアイ光学系106aの外側には、軟X線と可視光が回り込む。第1フライアイ光学系106aの外側を通過した軟X線と可視光は、平面鏡120によって光路を折り曲げた後に、第1光源位置観察系121Xと第2光源位置観察系121

Yによって集光され、それぞれ第1スクリーン122X、第2スクリーン122Y上に発光点103の像を形成する。

これらの第1スクリーン122X、第2スクリーン122Yは、真空チャンバ外壁に設けられた図示無き窓を介して真空チャンバ111の外から観察可能である。なお、これらの第1および第2スクリーン122X、122Yを真空チャンバ外壁に設けても良い。

但し、本実施例では、第1フライアイ光学系106aの外側を通過した軟X線と可視光のうち、もっぱら可視光によって発光点103の像を形成している。したがって光源位置観察系121X、121Yとしては、例えば通常のレンズを使用することが出来る。なお、軟X線は真空チャンバ111の窓を通ると、空气中でそのほぼ全てが減衰して第1及び第2光源位置観察系121X、121Yに到達することはないが、その窓に、軟X線は吸収または反射し、かつ可視光は透過する薄膜を形成しておくことが望ましい。

図11は、平面鏡120による光路の折り曲げがないとした場合の光源位置観察系の光路を示す図であり、図12は、この場合のフライアイ光学系へ向かう光束の断面図を示す。図11および図12において、AXはフライアイ光学系に向かう軟X線（露光光）の光軸を表わし、axは第1光源位置観察系121Xの光軸を表わし、ayは第2光源位置観察系121Yの光軸を表わす。なお、図11においては、放物面鏡105はYZ平面内（図10の紙面内に対応）において光路を90°偏向させているが、この偏向角度は90°には限られない。

これら図11および図12からも明らかなように、第1光源位置観察系121Xと第2光源位置観察系121Yの光軸ax、ayは、露光光の光軸AXを挟んで直交するように配置されている。すなわち第1および第2光源位置観察系121X、121Yでは、X線光源の発光点103を互いに異なる2方向（X方向およびY方向）から観察している。

また第1スクリーン122X、第2スクリーン122Y上には、図11に示すように指標（目盛り）が印刷されている。したがってスクリーン122X、122Y上に形成される発光点103の像を肉眼にて観察することにより、露光光の光軸AXと直交する発光点の3次元的な位置を特定することができる。ここで第

1 光源位置観察系 1 2 1 Xにより図 1 2における Y Z 平面内における発光点 1 0 3 の位置を特定でき、第 2 光源位置観察系 1 2 1 Yにより図 1 2における X Y 平面内における発光点 1 0 3 の位置を特定することができる。

本実施例では、発光点 1 0 3 を互いに  $90^\circ$  だけ異なる方向から観察しているが、異なる 2 方向から観察すれば発光点の 3 次元的な位置を特定することが可能であるため、2 方向のなす角度は  $90^\circ$  に限られない。また、観察方向は 2 方向に限られず、1 方向のみ、あるいは 3 方向以上から観察しても良い。

なお、軟 X 線の対気に対する透過率は大変低いため、軟 X 線が眼に到達して障害を起こすことはないが、さらに安全とするために可視光を透過させ軟 X 線を遮蔽するガラスを第 1 および第 2 光源位置観察系に設けても良い。

ここで、経時的に劣化するために交換する必要がある部品は、主にノズル 1 0 2 と第 1 集光光学系 1 0 4 である。光源位置観察系 1 2 1 X、1 2 1 Yを通して得られた発光点 1 0 3 の像は、そのどちらの位置がずれても、位置を変える。したがって、交換作業の後に、発光点 1 0 3 の像の位置が元に戻るように、ノズル 1 0 2 と第 1 集光光学系 1 0 4 の位置調整を行えば、あるべき位置に交換部品を配置することが出来る。

なお、本発明は上述の各実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

例えば、上記第 2 実施例において、スクリーン 1 2 2 X、1 2 2 Y の位置に例えば CCD などの 2 次元光電変換素子を配置し、発光点 1 0 3 の位置を CCD の画素基準で検出しても良い。また、スクリーン 1 2 2 X、1 2 2 Y の像を再結像させるリレー光学系を設け、このリレー光学系による像位置に CCD などの 2 次元光電変換素子を配置しても良い。この場合、発光点 1 0 3 の位置は CCD 基準ではなく、スクリーン 1 2 2 X、1 2 2 Y 上の指標基準で検出される。このように発光点 1 0 3 の像を光電変換素子で検出する場合には、発光点 1 0 3 の位置決めを自動的に行うことが可能となる。このときには、少なくともノズル 1 0 2 の 3 次元的な位置を制御する駆動部と、上記光電変換素子からの出力に基づいて駆動部を制御する制御部とを備えることが好ましい。

また、以上の例では、第 1 集光光学系にて反射された可視光を利用して発光点

103の像を形成したが、その代わりに、第1集光光学系104としての楕円鏡に穴を設け、この穴から発光点103を観察するように構成しても良い。図13は、集光光学系104に2つの穴部104aX、104aYを設け、それぞれの穴部104aX、104aYを介して第1および第2光源位置観察系121X、121Yを配置した例を示す。このとき、第1光源位置観察系121Xでは、その光軸axと直交する面内での発光点103の位置を観察することができ、第2光源位置観察系121Yでは、その光軸ayと直交する面内での発光点の位置を観察することができる。図13の例では、第1および第2光源位置観察系121X、121Yの光軸が互いに90°の位置関係にはなっていないが、互いに90°となるように配置しても良い。また、図13の例においても前述のようにスクリーン122X、122Yの位置またはスクリーン122X、122Yの共役位置にCCDを配置することも可能である。

また、本例では第1及び第2光源位置観察系121X、121Yによって可視光を検出するものとしたが、発光点103から軟X線とともに発生する可視光以外の光、例えば紫外光などを検出するようにしてもよい。

ところで、前述の第1実施例によって製造される露光装置に対し、更に第1及び第2光源位置観察系121X、121Yを組み込むことにより、図10に示した露光装置を製造することができる。なお、図1または図10に示した露光装置の製造は、温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルーム内で行うことが望ましい。また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、図10の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

また、本発明は、実施例で説明した投影露光装置のみならず、投影原版としてのマスクと被露光物体である感光性基板とを微小間隔だけ離れた状態でマスクパターンを感光性基板上へ転写するプロキシミティ露光装置にも適用できる。

さらに、第1実施例と第2実施例の各構成を適宜組み合わせてもよいし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で従来より公知の種々の構成と組み合わせてもよい。

なお、明細書、特許請求の範囲、図面、および要約を含む、1998年9月17日付提出の日本国特許出願第10-262791号の全ての開示内容、及び1998年9月22日付提出の日本国特許出願第10-268197号の全ての開示内容を引用して本願明細書に組み込むものとする。



## 特許請求の範囲

1. 露光用の照明光を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、前記照明光のもとで前記マスクのパターンを基板上に転写するための露光装置の調整方法であって、

前記露光光源として、前記露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、この広帯域光源を発光させる工程と、

前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の光を利用して、前記照明系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う工程とを具備することを特徴とする露光装置の調整方法。

2. 露光用の照明光を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、前記照明光のもとで前記マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の調整方法であって、

前記露光光源として、前記露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、この広帯域光源を発光させる工程と、

前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の光を使用して、前記照明系中の少なくとも一部の光学系の粗調整を行う工程と、

前記広帯域光源から射出される前記露光用の照明光を使用して、前記照明系の最終的な調整を行う工程とを具備することを特徴とする露光装置の調整方法。

3. 前記露光装置は、前記マスクからの照明光を集光して前記マスクのパターンの像を前記基板上に投射する反射系よりなる投影系を備え、

前記照明系および前記投影系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際に、前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の光を使用することを特徴とする請求項1または2記載の露光装置の調整方法。

4. 前記広帯域光源は、前記露光用の照明光として極端紫外域の波長の光を発生するとともに、前記非露光波長の光として紫外域および可視域の少なくとも一方の波長の光を発生する光源であり、

前記照明系は、反射系であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の露光装置の調整方法。

5. 露光用の照明光を発生する露光光源と、前記照明光をマスクに照射する照明系と、前記マスクのパターン像を基板上に投射する投影系とを備えた露光装置の調整方法であって、

前記露光光源として、前記露光用の照明光、およびこの照明光と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、この広帯域光源を発光させる工程と、

前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の光を使用して、前記投影系の少なくとも一部の光学系を調整する工程を具備することを特徴とする露光装置の調整方法。

6. 前記非露光波長の光を用いて前記光学系を調整した後、前記広帯域光源から射出される前記露光用の照明光を用いて、前記投影系の再調整を行うことを特徴とする請求項 5 記載の露光装置の調整方法。

7. 前記広帯域光源は、前記露光用の照明光として極端紫外域の波長の光を発生するとともに、前記非露光波長の光として紫外域および可視域の少なくとも一方の波長の光を発生する光源であり、

前記投影系は反射系であることを特徴とする請求項 5 記載の露光装置の調整方法。

8. 前記広帯域光源はレーザ励起プラズマ光源であり、前記露光用の照明光は波長が 5 ～ 20 nm の間の極端紫外光であることを特徴とする請求項 4 記載の露光装置の調整方法。

9. 前記広帯域光源はレーザ励起プラズマ光源であり、前記露光用の照明光は波長が5～20 nmの間の極端紫外光であることを特徴とする請求項7記載の露光装置の調整方法。

10. 前記非露光波長の光を用いて前記光学系の調整を行う際には、この非露光波長の光の光路に所定の気体を供給し、前記露光用の照明光を用いて露光または調整を行う際には、この露光用の照明光の光路を実質的に真空にすることを特徴とする請求項4記載の露光装置の調整方法。

11. 前記非露光波長の光を用いて前記光学系の調整を行う際には、この非露光波長の光の光路に所定の気体を供給し、前記露光用の照明光を用いて露光または調整を行う際には、この露光用の照明光の光路を実質的に真空にすることを特徴とする請求項7記載の露光装置の調整方法。

12. 露光用の照明光を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、前記マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、

前記露光光源は、前記露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源であり、

前記照明系中の少なくとも一部の光学系を通過した前記非露光波長の光を検出する光電検出器を具備することを特徴とする露光装置。

13. 前記マスクからの照明光を集光して前記マスクのパターンの像を前記基板上に投射する投影系を具備し、前記光電検出器は、前記照明系を通過した後、前記投影系中の少なくとも一部の光学系を通過した前記非露光波長の光を検出できる光電検出器であることを特徴とする請求項12記載の露光装置。

14. 露光用の照明光を発生する露光光源と、前記照明光をマスクに照射する

照明系と、前記マスクのパターン像を基板上に投射する投影系とを備えた露光装置であって、

前記露光光源は、前記露光用の照明光、およびこの照明光と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源であり、

前記投影系の少なくとも一部を通過する前記非露光波長の光を検出する光検出器を具備することを特徴とする露光装置。

15. 前記照明系および前記投影系はそれぞれ反射系より構成され、

前記マスクおよび前記基板を所定方向に移動するステージ系と、

前記マスクのパターンの像を前記基板上に転写する際に、前記ステージ系を駆動して前記マスクおよび前記基板を前記投影系に対して同期走査させる制御装置とを具備することを特徴とする請求項13または14記載の露光装置。

16. 前記広帯域光源は、前記露光用の照明光として極端紫外域の波長の光を発生し、前記非露光波長の光として紫外域または可視域の少なくとも一方の波長の光を発生すると共に、

前記広帯域光源からの前記非露光波長の光を使用する際には、この光の光路に所定の気体が供給され、

前記広帯域光源からの前記露光用の照明光を使用する際には、この照明光の光路が実質的に真空にされることを特徴とする請求項12または14記載の露光装置。

17. 前記広帯域光源から射出された前記露光用の照明光、および前記非露光波長の光の何れかを前記照明系側に通過させる波長選択装置を設けたことを特徴とする請求項12または14記載の露光装置。

18. 物体をプラズマ化することによりX線を発生させるX線光源を備え、このX線光源から発する前記X線を露光光として用いる露光装置であって、前記X線光源から前記X線と共に発せられる、前記X線と波長が異なる光により、前記

X線光源の像を形成する光源位置観察系を備えたことを特徴とする露光装置。

19. 前記X線光源は、前記物体にレーザー光を当てて物体をプラズマ化するレーザープラズマX線光源であることを特徴とする請求項18記載の露光装置。

20. 前記光源位置観察系は、第1および第2の光源位置観察系を含み、前記第1および第2の光源位置観察系は、互いに異なる方向から前記X線光源を観察するように位置決めされていることを特徴とする請求項18記載の露光装置。

21. 前記光源位置観察系は、第1および第2の光源位置観察系よりなり、第1および第2の光源位置観察系の光軸は、少なくとも部分的に前記X線の光軸と平行となるように、且つX線の光軸に関して互いに90°の角度をなすように配置されていることを特徴とする請求項18記載の露光装置。

22. 前記X線光源は、真空チャンバ内に配置されており、前記光源位置観察系は、前記光による前記X線光源の像を前記真空チャンバの外から観察できるように構成されることを特徴とする請求項18記載の露光装置。

23. 物体をプラズマ化することによりX線を発生させるX線光源を使用し、このX線光源から発する前記X線を露光光として用いる露光装置の調整方法において、前記X線光源から前記X線と共に発せられる、前記X線と波長が異なる光を用いて前記X線光源の位置決めを行うことを特徴とする調整方法。

24. 物体をプラズマ化することによりX線を発生させるX線光源を使用し、前記X線光源から発する前記X線を露光光として用いる露光方法であって、前記X線光源から前記X線と共に発せられる、前記X線と波長が異なる光を用いて前記X線光源の位置決めを行う工程と、その後に露光を行う工程とを具備することを特徴とする露光方法。



25. 露光用の第1照明光、およびこの第1照明光と波長が異なる第2照明光とを発生する光源を有する露光装置の製造方法であって、

前記第1および第2照明光が通る光路中に光学系を配置する工程と、

前記光学系を通る前記第2照明光を検出して前記光学系を調整する工程と、

前記光学系を通る前記第1照明光を検出して前記光学系を調整する工程とを具備することを特徴とする露光装置の製造方法。

26. 請求項25に記載の製造方法であって、前記光学系は、複数の反射光学素子が鏡筒に組み込まれた反射系であることを特徴とする製造方法。

27. 請求項26に記載の製造方法であって、パターンを有する第1物体を介して前記第1照明光で第2物体を露光するために、前記第1照明光に対して前記第1および第2物体をそれぞれ相対移動するステージシステムを設けることを特徴とする製造方法。

28. 請求項27に記載の製造方法であって、前記第1照明光はその波長が5～50nmの間であることを特徴とする製造方法。

## 開示内容の要約

本発明の露光装置の調整方法は、露光用の照明光を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを備え、その照明光のもとでそのマスクのパターンを基板上に転写する形式の露光装置を調整する方法である。この方法では、露光光源として露光用の照明光、およびこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、前記照明系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用する。